

Workshop Strömungsschall, 05. - 06.Dezember 2019

Analytische Vorhersage des Rotor-Stator-Interaktionslärms für gepfeilte Statorschaufeln

M.Sc. Stephen Schade

Dr.-Ing. Robert Jaron

Dr.-Ing. Antoine Moreau

Prof. Dr. Lars Enhardt

DLR

Institut für Antriebstechnik

Triebwerksakustik



Wissen für Morgen



Agenda

01 Motivation und Problemstellung

02 Modellerweiterung

03 Modellvalidierung

04 Anwendung

Wissen für Morgen

Motivation und Problemstellung

- Forschung an leisen, ummantelten Fanstufen für Kleinflugzeuge
- hybrid-elektrischer Antriebsstrang
 - Fanlärm als dominante Lärmquelle
- langsam drehende Fanstufen mit niedrigem Druckverhältnis, subsonischer Durchströmung und großem Durchmesser
- Fan Vorauslegung → PropNoise
 - akustische Bewertung mittels semi-analytischer Modelle
 - Studien u.a. zur Schaufelzahlpaarung, Statorpfeilung und Statorneigung



Motivation und Problemstellung

Modellierung der aerodynamischen Anregung in PropNoise

- Schallerzeugung durch:
 - Druckfluktuationen auf der Schaufeloberfläche → Dipolquelle

komplexe Druckamplitude im Frequenzbereich:

$$\hat{p}_m(\omega) = V \int g_m(\omega) \cdot \Re(\omega) \cdot \Psi(\omega) \cdot \zeta(\tilde{\omega}) \cdot e^{ik_x x_{LE} + im\theta_{LE}} \cdot dr_s$$

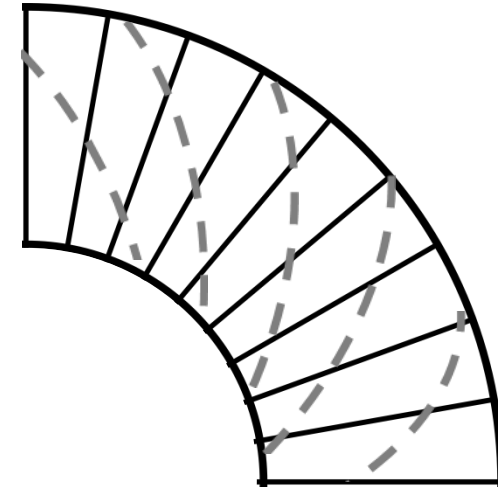
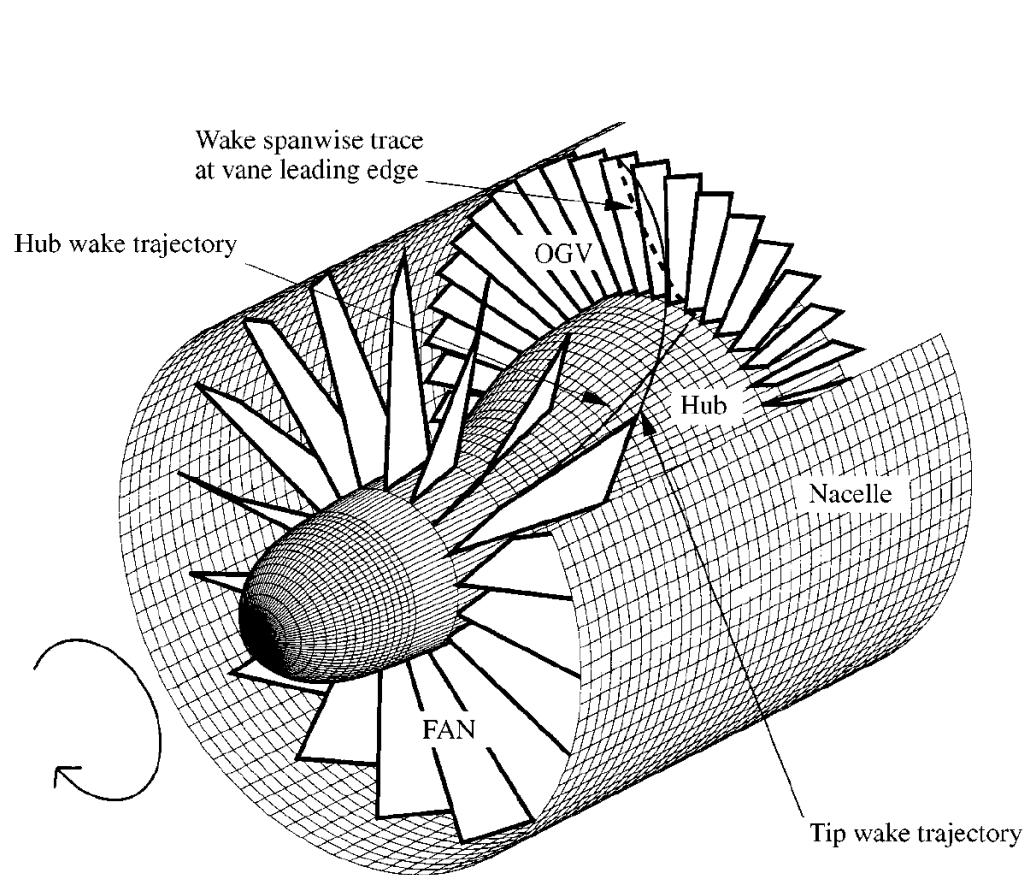
Greensche Funktion Abstrahl-effizienz Quellverteilung **aerodynamische Anregung** Verteilung der Quellen in radialer und azimuthaler Richtung

Lärmquelle:	Charakteristik:	aerodyn. Anregung
Instationärer Profilauftriebslärm	Dipol	$\pi \rho_0 \mathbf{W}_n \hat{u}_n(\tilde{\omega}) g(\tilde{\omega})$
Turbulenter Interaktionslärm	Dipol	$\pi^2 \rho_0^2 \mathbf{W}_n^2 \Phi_{uu}(\mathbf{W}_n, \tilde{\omega}) g(\tilde{\omega}) ^2$

Tab. 1: Aerodynamische Anregung.



Motivation und Problemstellung



Pfeilung erhöht die Anzahl der Rotornachläufe, die auf eine Statorvorderkante treffen

Abb. 1: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Rotornachlauf und Statorvorderkante [5].



PropNoise Modellerweiterung

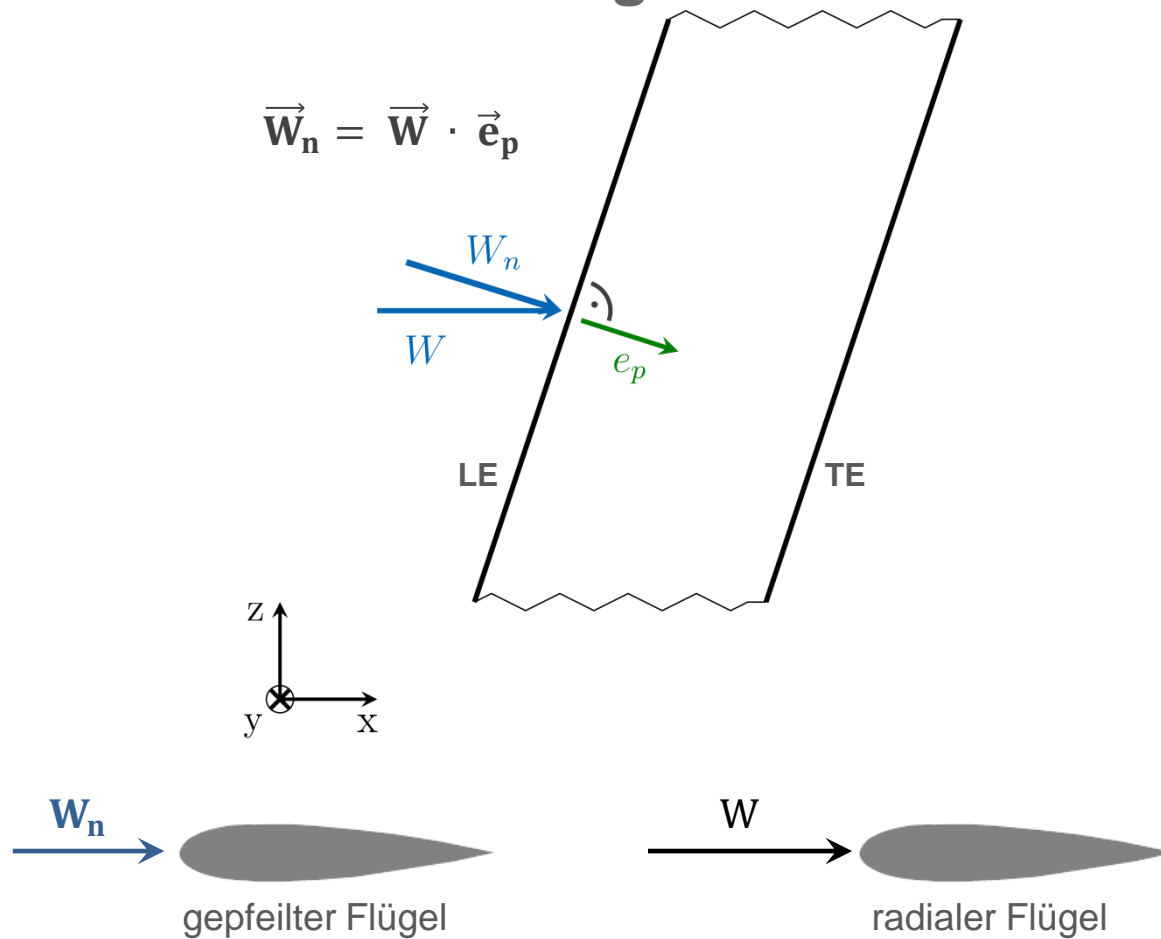


Abb. 2: Schematische Darstellung der Anströmung eines gepfeilter Flügel.



Modellvalidierung

Tonaler Interaktionslärm – NASA SDT Fan

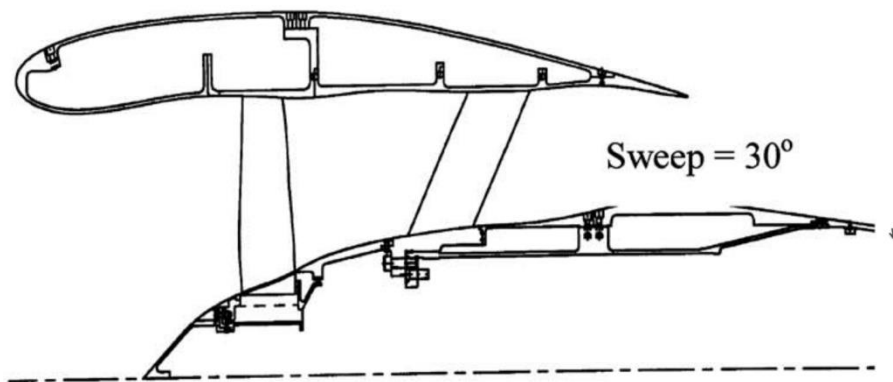


Abb. 3: NASA SDT fan [4].

- 22 Rotoren, 26 gepfeilte Statoren
- Durchmesser: 56 cm
- Drehzahl: 2656 rev/min
- Druckverhältnis: 1.47

NASA SDT Fan

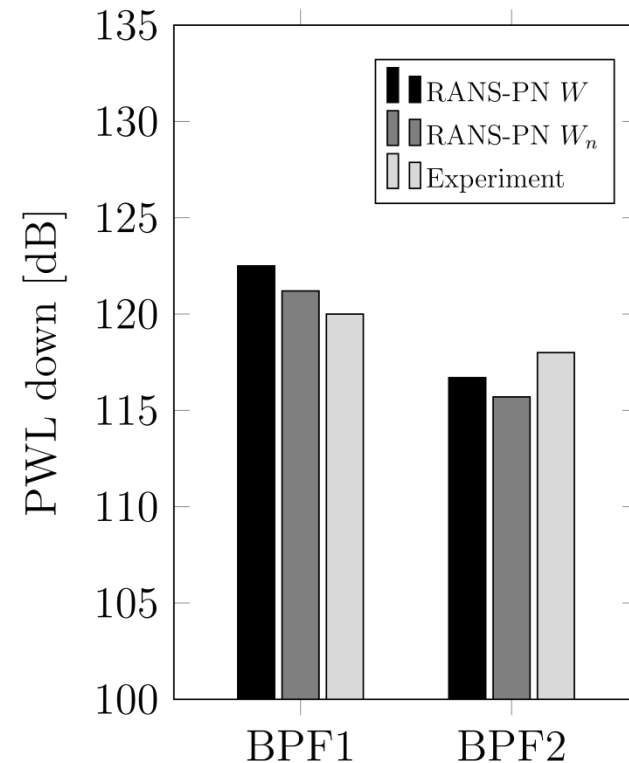


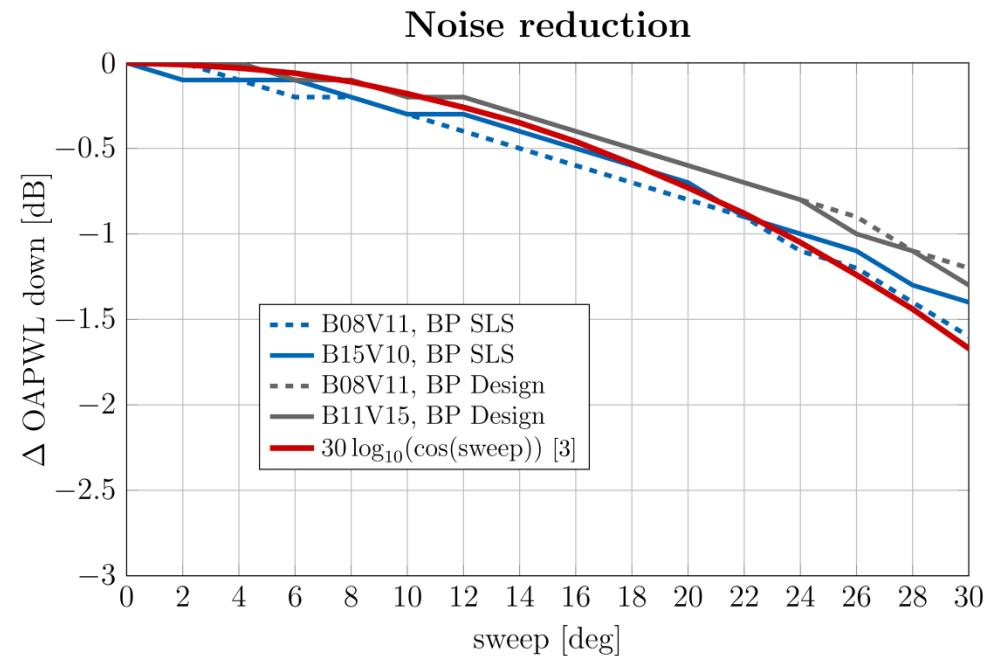
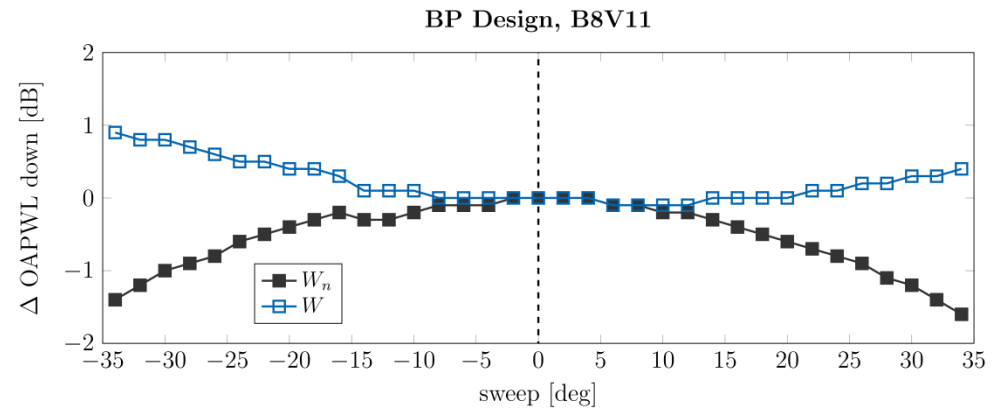
Abb. 4: Tonaler Rotor-Stator-Interaktionslärm am Beispiel des NASA SDT Fans für den take-off Betriebspunkt. Experimentelle Daten entnommen aus [2].



Modellvalidierung

Breitbandinteraktionslärm

Abb. 5: Einfluss der Modellerweiterung auf den Breitband-Interaktionslärm. Referenzwert entnommen aus [3].



Anwendung

PropNoise – Vorauslegung

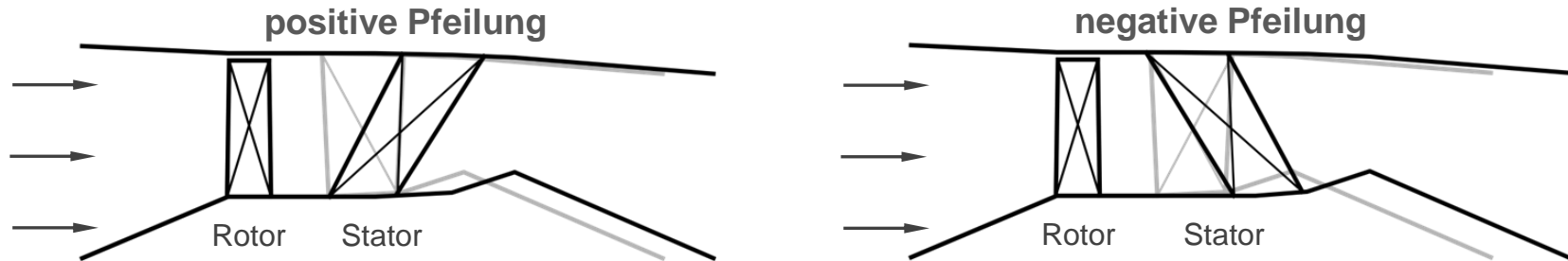


Abb. 6: Schematische Darstellung positiver und negativer Statorpfeilung.

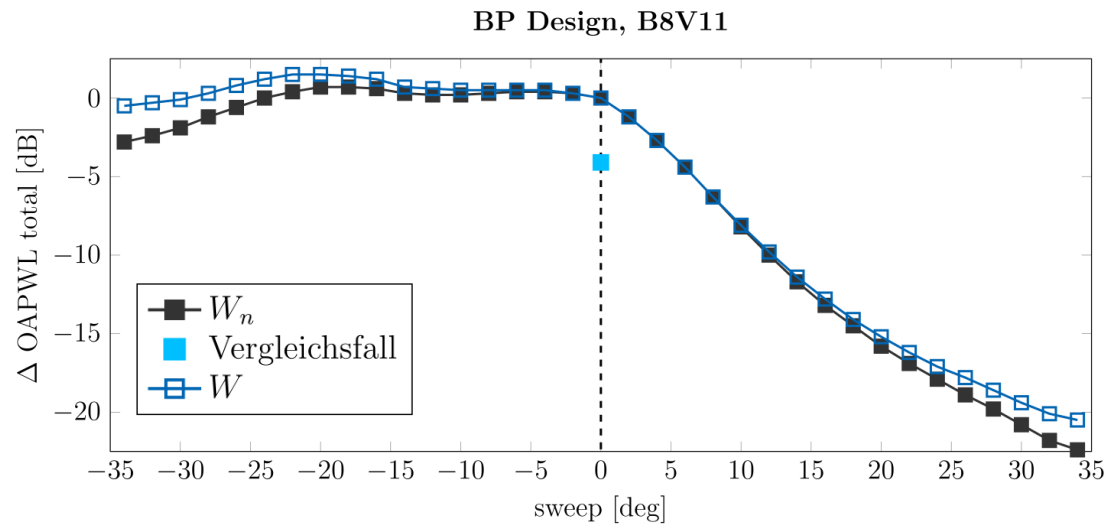


Abb. 7: Gesamtschalleistung des tonalen Interaktionslärms in Abhängigkeit der Statorpfeilung für verschiedene Konfigurationen.



Anwendung

PropNoise – Vorauslegung

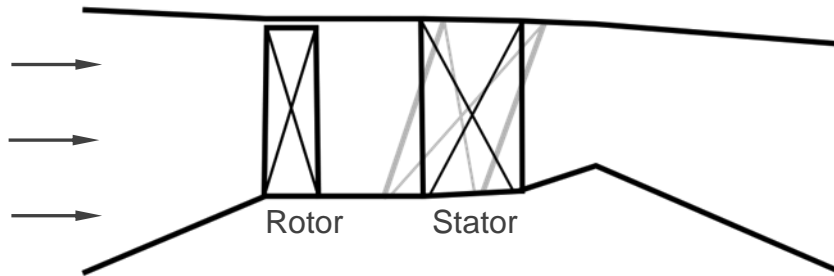


Abb. 8: Vergleichsfall – äquivalente axiale Länge verglichen mit einem um 20° gepfeilten Stator

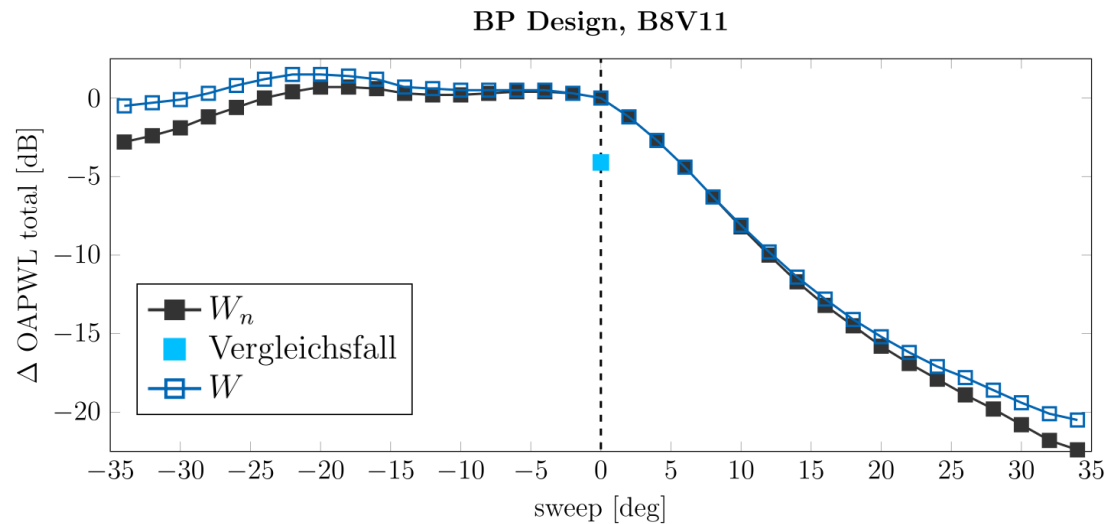




Abb. 9: Gesamtschallleistung des tonalen Interaktionslärms in Abhängigkeit der Statorpfeilung für verschiedene Konfigurationen.

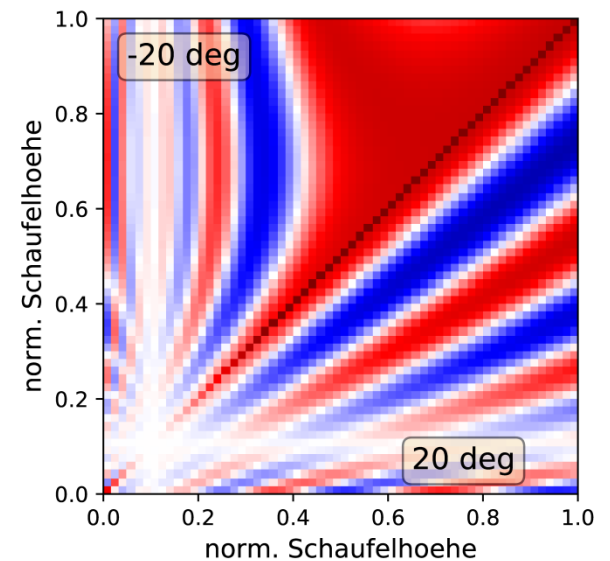
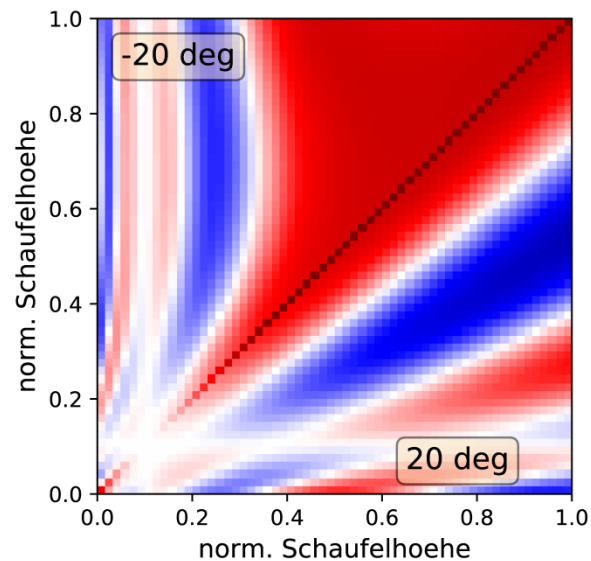
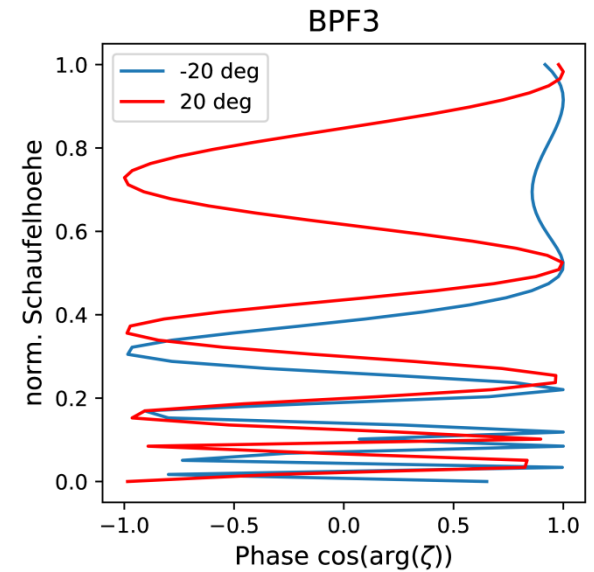
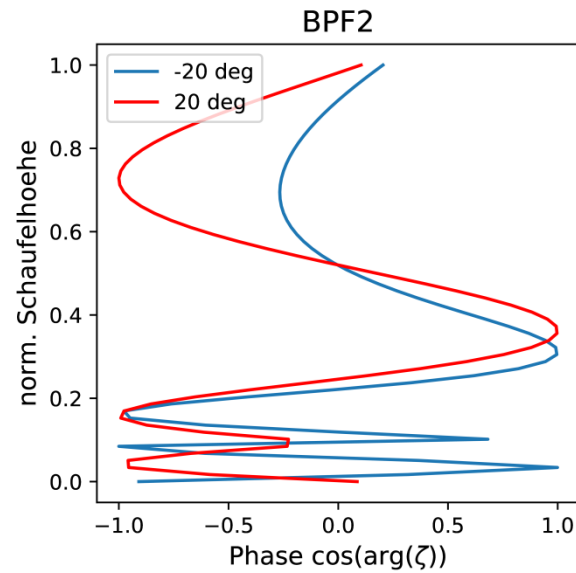


Anwendung

PropNoise – Vorauslegung

Abb. 10: Radiale Interferenzen und Phase der Anregung bei der zweiten und dritten Umfangsharmonischen des Nachlaufs des Rotors.

 Verstärkung
 Auslöschung



Zusammenfassung

- wesentliche Effekte:
 - Vergrößerung des axialen Abstands
 - Variation der Phase der Anregung → radiale Interferenzen
 - Reduktion der effektiven Anströmgeschwindigkeit
- Reduktion des Breitband-Interaktionslärms durch die Verwendung der effektiven Anströmgeschwindigkeit
- die Verwendung der effektiven Anströmgeschwindigkeit beeinflusst den tonalen Interaktionslärm ab einer Pfeilung von $\pm 15^\circ$



Quellen

- [1] Vos, R. und Farokhi, S.: *Introduction to Transonic Aerodynamics*. Springer Verlag, DOI 10.1007/978-94-017-9747-4, S. 427-453, 2015
- [2] Woodward, R. P.: *Comparison of Far-Field Noise for Three Significantly Different Model Turbofans*. AIAA, Session: AA-6: Airframe, Rotocraft, Engine Turbomachine, Combustor and Core Noise, 2012
- [3] Hanson, D. B.: *Theory for Broadband Noise of Rotor and Stator Cascades With Inhomogeneous Inflow Turbulence Including Effects of Lean and Sweep*. NASA/CR-2001-210762, Mai 2001
- [4] Nallasamy, M. and Envia, E.: *Computation of rotor wake turbulence noise*. Journal of Sound and Vibration 282, pp. 649-678, 2005
- [5] Envia, E.: *Design selection and analysis of a swept and leaned stator concept*. Journal of Sound and Vibration 228, pp. 793-836, 1999